

**PEMANFAATAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF
PENDUKUNG PEMBUATAN *PAVING BLOCK* DENGAN METODE MULTI
RESPON TAGUCHI
(Studi Kasus di CV. Kali Ampo Malang)**

**THE USE OF BAGGASSE ASH AS AN ALTERNATIVE SUPPORT MATERIAL
IN THE MANUFACTURE OF *PAVING BLOCK* USING MULTI
RESPONSES TAGUCHI
(Case Study at CV. Kali Ampo Malang)**

Ega Pratida Fauzi¹⁾, Nasir Widha Setyanto²⁾, Remba Yanuar Efranto³⁾

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik-Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: egapratidaf@gmail.com¹⁾, nazzyr_lin@ub.ac.id²⁾, remba@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen Portland atau bahan perekat hidroli sejenisnya, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton. Harga semen yang meningkat dari tahun 2011 dan 2012, maka diperlukan suatu bahan alternatif pendukung pembuatan *paving block* yang dapat mereduksi penggunaan semen. Abu ampas tebu merupakan salah satu bahan alternatif yang memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang akan menghasilkan zat perekat seperti semen. Dalam pembuatan *paving block* dengan abu ampas tebu digunakan desain eksperimen metode Taguchi yang merupakan metode perbaikan kualitas dengan melakukan percobaan baru serta biaya seminimal mungkin. Berdasarkan perhitungan ANOVA respon kuat tekan menunjukkan tiga faktor memiliki pengaruh signifikan yaitu rasio air semen:agregat (F_{hitung} 7,83), rasio semen:abu ampas tebu (F_{hitung} 18,73) serta rasio pasir goa:pasir kali (F_{hitung} 77,57). Sedangkan perhitungan ANOVA respon penyerapan air menunjukkan tiga faktor memiliki pengaruh signifikan yaitu faktor air semen dan agregat (F_{hitung} 19,59), rasio semen dan abu ampas tebu (F_{hitung} 23,66) serta rasio pasir goa dan pasir goa dan pasir kali (F_{hitung} 32,18). Menurut prosedur TOPSIS dihasilkan setting level optimal yaiturasio berat air semen dan agregat adalah 5%:95%, rasio air dan semen (FAS) adalah 35%:65%, rasio berat semen dan abu ampas tebu adalah 75%:25%, serta rasio berat pasir goa dan pasir kali adalah 35%:65%. Sehingga penggunaan abu ampas tebu dapat mengurangi penggunaan semen sebesar 25%.

Kata kunci: *Paving Block, Abu Ampas Tebu, Desain Eksperimen, Metode Taguchi, TOPSIS*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berkembang terus melakukan perbaikan diri, salah satunya adalah perbaikan prasarana transportasi/ jalur lalu lintas. Maka dari itu permukaan tanah dasar jalan perlu diberi lapisan, sehingga beban yang diterima bisa didistribusikan hingga besaran yang mampu dipikul oleh tanah dasar tersebut. Penggunaan *paving block* sebagai pelapis jalan dapat dengan mudah digunakan dan pemeliharaan yang mudah serta dengan adanya pori-pori di *paving block* meminimalisasi aliran permukaan dan memperbanyak aliran air ke dalam tanah (Arum dan Perdhani, 2002).

Harga bahan baku *paving block* yaitu semen, yang melonjak dalam dua tahun terakhir, seperti harga semen pada tahun 2010 sebesar Rp 54.000/zak (Kementrian Pekerjaan

Umum, 2011) sedangkan pada tahun 2012 meningkat menjadi Rp 60.546,25/zak (Kementrian Pekerjaan Umum, 2012), membuat biaya produksi *paving block* ikut mengalami peningkatan. Dari permasalahan ini diperlukan suatu bahan alternatif yang dapat menjadi bahan pendukung semen yang mempunyai harga yang relatif lebih murah sehingga biaya produksi *paving block* dapat mengalami penurunan, tanpa menurunkan kualitas *paving block*.

Bahan yang digunakan sebagai bahan alternatif adalah abu ampas tebu. Abu ampas tebu didapatkan dari hasil pembakaran ampas tebu. Pada musim giling tahun 2013, jumlah tebu yang digiling dari bulan Mei sampai November mencapai sekitar 15,37 juta kuintal, sehingga ampas tebu yang dihasilkan

diperkirakan mencapai 4,6 juta kuintal. Pemanfaatan limbah ampas tebu yang belum optimal dapat dimanfaatkan untuk bahan alternatif pembuatan *paving block* sebagai bahan pendukung semen. Abu ampas tebu ini banyak mengandung senyawa silika (SiO_2) yang dapat bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari reaksi pencampuran semen dan air sehingga dapat menghasilkan zat perekat seperti semen.

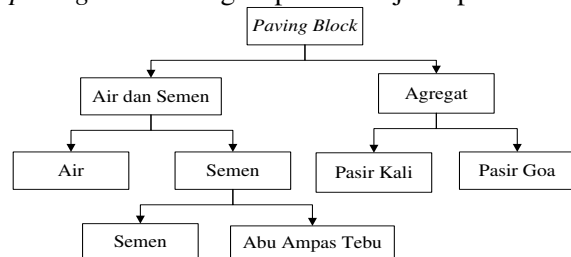
Menurut Soejanto (2008) Taguchi merupakan metode perbaikan kualitas dengan menggunakan percobaan baru serta penekanan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Kelebihan dari metode Taguchi menjadikan produk tidak sensitif terhadap *noise* (*robust design*) dan dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik objek dengan perhitungan ANOVA dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) sehingga dapat dilakukan perhatian khusus. Dari masalah yang telah dipaparkan di atas, maka diperlukan pemanfaatan abu ampas tebu dengan menggunakan metode Taguchi sehingga dapat ditemukan *setting level* optimal dari pembuatan *paving block* yang sesuai dengan SNI 03-0691-1996 tentang *paving block*. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menemukan *setting level* optimal untuk mendapatkan kuat tekan yang tinggi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam tipe penelitian eksperimen. Penelitian ini mengikuti langkah-langkah lengkap yang diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh, sehingga analisis akan menjadi objektif.

2.1 Spesimen Uji

Pada Gambar 1. menunjukkan komposisi *paving block* sebagai spesimen uji eksperimen



Gambar 1. Produk Eksperimen

Pembuatan *paving block* dalam penelitian ini digunakan bahan tambah sebagai bahan pendukung semen berupa abu ampas tebu.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kandungan Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu dihasilkan dari pembakaran ampas tebu. Ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar untuk *boiler* yang digunakan dalam proses produksi pembuatan gula di Pabrik Gula Kebon Agung. Pengujian mengenai komposisi yang terkandung di dalam abu ampas tebu dilakukan untuk menghindari pemanfaatan abu ampas tebu yang kurang tepat. Pada Tabel 1. merupakan hasil pengujian abu ampas tebu sebelum pembakaran.

Tabel 1. Hasil Pengujian Abu Ampas Tebu Sebelum Pembakaran

Senyawa Kimia	Persentase (%)
SiO_2	53
Al_2O_3	4,3
Fe_2O_3	7,5
CaO	6,6
Lain-lain	28,6

Dari hasil pembakaran abu ampas tebu pada Tabel 1. dapat diketahui bahwa kandungan silika belum memenuhi syarat ASTM (*American Standard for Testing Material*) yaitu sebesar $\geq 70\%$. Maka abu ampas tebu tersebut akan dilakukan pembakaran pada suhu 600°C selama 2 jam (Wibowo, Hatmoko & Wigyono, 2006). Pada Tabel 2. merupakan hasil pengujian abu ampas tebu sesudah pembakaran.

Tabel 2. Hasil Pengujian Abu Ampas Tebu Setelah Pembakaran

Senyawa Kimia	Persentase (%)
SiO_2	71
Al_2O_3	2,5
Fe_2O_3	8,2
CaO	3,6
Lain-lain	14,7

3.2 Pengujian *Paving Block* Aktual

Data ini berguna untuk mengetahui karakteristik kualitas dari kuat tekan dan penyerapan air pada *paving block* kondisi aktual. Tabel 3. merupakan hasil pengujian kuat tekan kondisi aktual sedangkan Tabel 4. merupakan hasil pengujian penyerapan air kondisi aktual.

Berikut merupakan perhitungan rata-rata dan variansi hasil pengujian *paving block* kondisi aktual:

1. Kuat Tekan

Perhitungan rata-rata:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{Pers. 1})$$

$$\mu = \frac{1}{16}(8,34 + 8,1 + \dots + 9,4 + 8,69 + 7,9)$$

$$\mu = 8,4$$

Perhitungan variansi:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (\text{Pers. 2})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{16-1} (8,34 - 8,4)^2 + \dots + (7,9 - 8,4)^2$$

$$\sigma^2 = 0,409$$

2. Penyerapan Air

Perhitungan rata-rata menggunakan persamaan 1:

$$\mu = \frac{1}{16} (8,4 + 7,58 + \dots + 8,02 + 10,79)$$

$$\mu = 9,06$$

Perhitungan variansi menggunakan persamaan 2:

$$\sigma^2 = \frac{1}{16-1} (8,4 - 9,06)^2 + \dots + (10,79 - 9,06)^2$$

$$\sigma^2 = 0,841$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Kondisi Aktual

No. Sampel	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimal (N)	Kuat Tekan (MPa)
1	22788	190000	8,34
2	22788	185000	8,12
3	22788	187000	8,21
4	22788	190000	8,34
5	22788	198000	8,69
6	22788	160000	7,02
7	22788	195000	8,56
8	22788	206000	9,04
9	22788	207000	9,08
10	22788	192000	8,43
11	22788	189000	8,29
12	22788	175000	7,68
13	22788	196000	8,60
14	22788	215000	9,43
15	22788	198000	8,69
16	22788	180000	7,90

Tabel 4. Hasil Pengujian Penyerapan Air Kondisi Aktual

No. Sampel	Berat Basah (Gram)	Berat Kering (Gram)	Selisih	Penyerapan Air (%)
1	2508,4	2314,1	194,3	8,40
2	2514,4	2337,3	177,1	7,58
3	2545,2	2338,4	206,8	8,84
4	2545,2	2342,5	202,7	8,65
5	2574,4	2355,1	219,3	9,31
6	2582,2	2357,9	224,3	9,51
7	2584,8	2369,1	215,7	9,10
8	2586,6	2373,9	212,7	8,96
9	2601,2	2395,8	205,4	8,57
10	2602,0	2410,2	191,8	7,96
11	2603,6	2350,6	253,0	10,76
12	2618,8	2390,8	228,0	9,54
13	2648,4	2408,4	240,0	9,97
14	2657,8	2460,5	197,3	8,02
15	2681,6	2460,0	221,6	9,01
16	2696,2	2433,6	262,6	10,79

3.3 Perencanaan Eksperimen

Perencanaan digunakan sebagai penentuan terhadap respon yang dituju. Karakteristik kualitas *paving block* yang dituju untuk kuat tekan yaitu *larger the better* sedangkan penyerapan air yaitu *smaller the better*. Kemudian dipilih faktor-faktor terkendali dan tidak terkendali dalam memperbaiki kualitas *paving block*. Faktor terkendali antara lain:

1. Rasio air semen dan agregat
2. Rasio air dan semen (f.a.s)
3. Rasio pasir kali dan pasir goa
4. Kebersihan bahan baku pasir dan kerikil, dimana pasir dan kerikil harus bebas dari dedaunan, rumput dan benda-benda asing
5. Kehalusan kerikil halus
6. Mesin cetak produksi
7. Lama proses pengeringan *paving block*

Sedangkan faktor tidak terkendali antara lain:

1. Suhu pemeliharaan *paving block*
2. Pencampuran bahan-bahan
3. Pemeliharaan *paving block*
4. Metode pencampuran bahan-bahan

3.3.1 Penetapan Level Faktor

Eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan tiga *setting level* faktor yang menunjukkan level tinggi (*high*), sedang (*medium*) dan rendah (*low*). Penggunaan faktor dan level faktor pada penelitian ini tersaji dalam Tabel 5.

Tabel 5. Faktor dan Level Faktor pada Pembuatan *Paving Block*

Faktor terkendali	Level faktor		
	1	2	3
Rasio Berat Air Semen dan Agregat	5% : 95%	15% : 85%	25% : 75%
Rasio Air dan Semen (FAS)	35% : 65%	45% : 55%	55% : 45%
Rasio Berat Semen dan Abu Ampas Tebu	65% : 35%	75% : 25%	85% : 15%
Rasio Berat Pasir Goa Dan Pasir Kali	25% : 75%	35% : 65%	45% : 55%

3.3.2 Rancangan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen matriks *Orthogonal Array* yang sesuai dengan nilai *degree of freedom* dari faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen, faktor dan level faktor. Maka digunakan *Orthogonal Array* L₉(3⁴) seperti pada Tabel 6.

3.3.3 Pembuatan *Paving Block* dengan Eksperimen *Taguchi*

Dalam tahap ini akan dibuat spesimen *paving block* yang akan digunakan untuk

pengujian kuat tekan dan penyerapan air dengan ukuran 6 cm atau 60 mm. Berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan:

1. Penyiapan Bahan
2. Pencampuran/pengadukan
3. Pencetakan
4. Pengeringan dan Pengerasan

Tabel 6. Orthogonal Array $L_9(3^4)$

No. Eksperimen	Faktor				Replikasi		
	A	B	C	D	R1	R2	R3
1	1	1	1	1			
2	1	2	2	2			
3	1	3	3	3			
4	2	1	3	3			
5	2	2	2	1			
6	2	3	1	2			
7	3	1	3	2			
8	3	2	1	3			
9	3	3	2	1			

Sumber : Soejanto (2008)

3.4 Pengujian Hasil Eksperimen Taguchi

Pengujian kuat tekan dan penyerapan air *paving block* dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Pada Tabel 7. merupakan hasil pengujian kuat tekan *paving block*, sedangkan pada Tabel 8. merupakan hasil pengujian penyerapan air *paving block*.

3.5 Perhitungan Nilai Rata-rata dan SNR

Data hasil eksperimen pada penelitian ini diolah dengan menggunakan dua perhitungan yaitu *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk rata-rata eksperimen (mean) dan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk data *Signal to Noise Ratio* (SN/R). ANOVA *mean* digunakan untuk mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata hasil eksperimen (respon). ANOVA SN/R digunakan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai variansi. Berikut merupakan pengolahan data menggunakan ANOVA untuk data mean dan SN/R:

1. Perhitungan nilai rata-rata

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (\text{Pers. 3})$$

2. Perhitungan nilai SNR

Larger the better

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (\text{Pers. 4})$$

Smaller the better

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (\text{Pers. 5})$$

Pada Tabel 9. merupakan hasil perhitungan nilai rata-rata dan S/N R untuk kuat tekan sedangkan hasil perhitungan untuk penyerapan air disajikan pada Tabel 10.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Rata-rata dan SN/R Eksperimen Taguchi pada Kuat Tekan

No. Eksperimen	Faktor				Rata-rata	SN/R
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	8,2	18,26
2	1	2	2	2	9,2	19,20
3	1	3	3	3	6,7	16,51
4	2	1	3	3	7,2	17,06
5	2	2	2	1	7,5	17,48
6	2	3	1	2	8,8	18,88
7	3	1	3	2	9,0	19,09
8	3	2	1	3	7,1	17,04
9	3	3	2	1	9,2	19,25

Tabel 8. Hasil Perhitungan Rata-rata dan SN/R Eksperimen Taguchi pada Penyerapan Air

No. Eksperimen	Faktor				Rata-rata	SN/R
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	7,6	-17,66
2	1	2	2	2	10,5	-20,39
3	1	3	3	3	4,8	-13,56
4	2	1	3	3	5,9	-15,46
5	2	2	2	1	5,4	-14,65
6	2	3	1	2	6,7	-16,57
7	3	1	3	2	5,7	-15,10
8	3	2	1	3	4,6	-13,27
9	3	3	2	1	7,1	-16,97

3.9 Perhitungan ANOVA Nilai Rata-rata

Berikut langkah-langkah perhitungan ANOVA nilai rata-rata:

1. Menghitung nilai rata-rata seluruh eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (\text{Pers. 6})$$

2. Menghitung rata-rata setiap level faktor

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum y_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (\text{Pers. 7})$$

3. Membuat *response tabel* dan *response graph*

Tabel 9. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Eksperimen Taguchi

No	Luas Penampang (mm ²)	Replikasi			R1	R2	R3
		R1	R2	R3	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	22788	194000	180000	186000	8,5	7,9	8,2
2	22788	220000	189000	219000	9,7	8,3	9,6
3	22788	155000	146000	158000	6,8	6,4	6,9
4	22788	155000	178000	157000	6,8	7,8	6,9
5	22788	162000	170000	180000	7,1	7,5	7,9
6	22788	194000	198000	209000	8,5	8,7	9,2
7	22788	194000	216000	207000	8,5	9,5	9,1
8	22788	153000	164000	170000	6,7	7,2	7,5
9	22788	201000	220000	207000	8,8	9,7	9,1

Tabel 10. Data Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Eksperimen Taguchi

No	R1		R2		R3		R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)
	Berat Kering	Selisih	Berat Kering	Selisih	Berat Kering	Selisih			
1	2445,2	183,4	2319,7	176,3	2555,3	199,3	7,5	7,6	7,8
2	2402,7	249,9	2425,6	246,6	2537,4	274	10,4	10,2	10,8
3	2562,2	117,6	2337	112,2	2534,4	124,2	4,6	4,8	4,9
4	2369,8	137,4	2189,1	133,5	2280,6	134,4	5,8	6,1	5,9
5	2295,2	119,4	2388,1	136,1	2291,2	121,4	5,2	5,7	5,3
6	2187,1	144,3	2289,1	157,9	2320,9	155,9	6,6	6,9	6,7
7	2455	135	2340,3	132,5	2403,8	141,8	5,5	5,7	5,9
8	2456,5	107,9	2278,9	105,5	2533,6	121,6	4,4	4,6	4,8
9	2435,2	171,8	2485,2	178,4	2316,1	160,5	7,1	7,2	6,9

4. Menghitung nilai *sum of squares*

$$ST = \sum y^2 \quad (\text{Pers. 8})$$

5. Menghitung nilai *sum of squares due to mean*

$$Sm = n\bar{y}^2 \quad (\text{Pers. 9})$$

6. Menghitung nilai *sum of squares due to factors*

$$SA = n_{A1}\bar{A1}^2 + n_{A2}\bar{A2}^2 + n_{A3}\bar{A3}^2 - Sm \quad (\text{Pers. 10})$$

7. Menghitung nilai *sum of squares due to error*

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD \quad (\text{Pers. 11})$$

8. Menghitung derajat kebebasan untuk sumber-sumber variansi

$$vA = \text{jumlah level} - 1 \quad (\text{Pers. 12})$$

9. Menghitung nilai mean *sum of squares*

$$MqA = \frac{SqA}{vA} \quad (\text{Pers. 13})$$

10. Menghitung nilai F-ratio

$$F_A = \frac{MqA}{Mqe} \quad (\text{Pers. 14})$$

11. Menghitung *pure sum of squares*

$$SqA' = SqA - (vA \times Mqe) \quad (\text{Pers. 15})$$

12. Menghitung *percent contribution*

$$\rho A = \frac{SqA'}{Sst} \times 100\% \quad (\text{Pers. 16})$$

13. *Pooling Up*

$$S(\text{Pooled } e) = Se + SA + SB \quad (\text{Pers. 17})$$

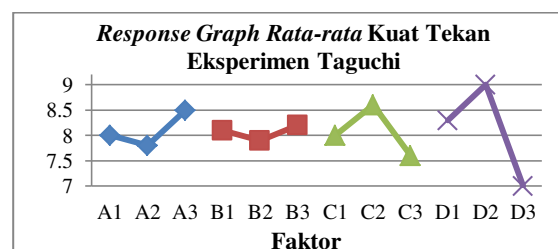
$$v(\text{Pooled } e) = ve + vA + vB \quad (\text{Pers. 18})$$

$$M(\text{Pooled } e) = \frac{S(\text{Pooled } e)}{v(\text{Pooled } e)} \quad (\text{Pers. 19})$$

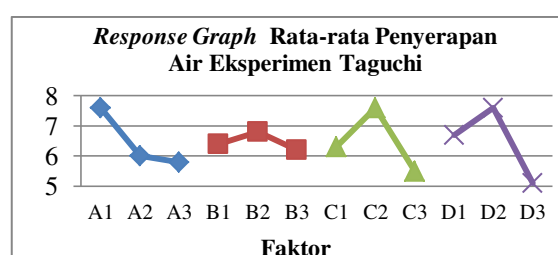
Berikut ini merupakan hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata untuk kuat tekan dan penyerapan air dalam eksperimen Taguchi. Pada Tabel 11. merupakan tabel respon nilai rata-rata untuk kuat tekan sedangkan untuk penyerapan air tersaji dalam Tabel 12. Penyajian *response graph* pada kuat tekan disajikan pada Gambar 2. dan Penyajian *response graph* pada penyerapan air pada Gambar 3.

Tabel 11. Tabel Respon Kuat Tekan Untuk Nilai Rata-rata Eksperimen Taguchi

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	8,0	8,1	8,0	8,3
Level 2	7,8	7,9	8,6	9,0
Level 3	8,5	8,2	7,6	7,0
Selisih	0,7	0,3	1,0	2,0
Ranking	3	4	2	1

**Gambar 2.** *Response Graph* Nilai Rata-rata Kuat Tekan**Tabel 12.** Tabel Respon Penyerapan Air Untuk Nilai Rata-rata Eksperimen Taguchi

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	7,6	6,4	6,3	6,7
Level 2	6,0	6,8	7,6	7,6
Level 3	5,8	6,2	5,5	5,1
Selisih	1,8	0,6	2,2	2,5
Ranking	3	4	2	1

**Gambar 3.** *Response Graph* Nilai Rata-rata Penyerapan Air

Hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata kuat tekan disajikan dalam Tabel 13. Sedangkan hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata penyerapan air disajikan dalam Tabel 15.

Tabel 13. Analysis of Variance Nilai Rata-rata (Mean) Kuat Tekan

Source	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %	F-tabel
A	1,88	2	0,94	7,83	1,64	5,95	3,55
B	0,40	2	0,20	1,67	0,16	0,58	3,55
C	4,50	2	2,25	18,73	4,26	15,45	3,55
D	18,63	2	9,32	77,57	18,39	66,70	3,55
error	2,2	18	0,12	1	3,12	11,32	
St	27,6	26	1,06		27,58	100	
Mean	1772,19	1					
ST	1799,76	27					

Tabel 14. Analysis of Variance Nilai Rata-rata (Mean) Kuat Tekan Setelah Pooling Up

Source	Pooled	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %
A	Y	1,88		1,88			
B	Y	0,40		0,40			
C		4,50	2	2,25	11,14	4,10	14,85
D		18,63	2	9,32	46,13	18,23	66,10
error	Y	2,16		2,16			
Pooled		4,44	22	0,20	1	5,25	19,04
St		27,58	26	1,06		27,58	100
Mean		1772,19	1				
ST		1799,76	27				

Tabel 15. Analysis of Variance Nilai Rata-rata (Mean) Penyerapan Air

Source	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %	F-tabel
A	17,89	2	8,94	19,59	16,97	21,50	3,55
B	1,86	2	0,93	2,04	0,95	1,20	3,55
C	21,60	2	10,80	23,66	20,69	26,20	3,55
D	29,39	2	14,70	32,18	28,48	36,07	3,55
error	8,22	18	0,46	1	11,87	15,04	
St	78,96	26	3,04		79,0	100	
Mean	1131,79	1					
ST	1210,75	27					

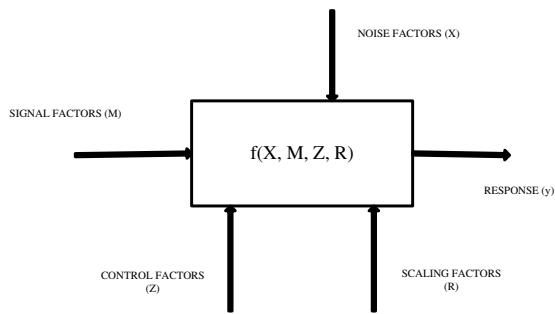
Tabel 16. Analysis of Variance Nilai Rata-rata (Mean) Penyerapan Air Setelah Pooling Up

Source	Pooled	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %
A	Y	17,89		17,89			
B	Y	1,86		1,86			
C		21,60	2	10,80	8,50	19,06	24,14
D		29,39	2	14,70	11,56	26,85	34,00
Error	Y	8,22		8,22			
Pooled		27,97	22	1,27	1	33,05	41,86
St		78,96	26	3,04		78,96	100
Mean		1131,79	1				
ST		1210,75	27				

Kemudian proses *pooling up* dilakukan untuk pengambilan dua faktor yang paling berpengaruh dalam pembuatan *paving block*. Pada Tabel 14. Merupakan hasil *pooling up* untuk kuat tekan sedangkan pada Tabel 16. Merupakan hasil *pooling up* untuk penyerapan air.

Berdasarkan Tabel 13. dan Tabel 15. diketahui bahwa faktor A, C dan D memiliki pengaruh yang besar terhadap kuat tekan (MPa) dan penyerapan air (%) *paving block*. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara F_{ratio} dengan nilai F_{tabel} ($F_{0,05;2;26}=3,55$). Jika nilai F_{ratio} lebih besar dari nilai F_{tabel} maka faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yaitu kuat tekan (MPa) dan

penyerapan air (%) pada *paving block*. Namun demikian, dapat dilihat bahwa faktor B memiliki nilai F_{ratio} yang lebih kecil dibandingkan dengan F_{tabel} . Maka dapat disimpulkan bahwa faktor B yaitu rasio air dan semen (F.A.S) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan air pada *paving block*. Hal ini berlawanan dengan teori yang ada, sehingga dicari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal seperti ini. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan hasil eksperimen berlawanan dengan teori yang ada. Seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sedangkan penjelasan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pembuatan *paving block* dijelaskan dalam Tabel 17.



Gambar 4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas *Paving Block* Hasil Eksperimen

Pada Tabel 14. dan Tabel 16. merupakan ANOVA nilai rata-rata setelah dilakukan *pooling up*. Pada Tabel 14 dan Tabel 16. dapat dilihat bahwa perhitungan besar persen kontribusi menunjukkan bahwa persen kontribusi *error* untuk kuat tekan adalah 19,04 sedangkan untuk penyerapan air adalah sebesar 41,86%, yang artinya bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi nilai rata-rata sudah cukup dimasukkan dalam eksperimen. Dalam eksperimen Taguchi, persen kontribusi diharapkan nilainya $\leq 50\%$, dengan nilai tersebut berarti faktor-faktor penting dalam eksperimen tersebut dilibatkan. Dengan persen kontribusi $\leq 50\%$, hasil eksperimen Taguchi telah memenuhi kriteria sebagai model untuk memprediksi nilai rata-rata optimumnya.

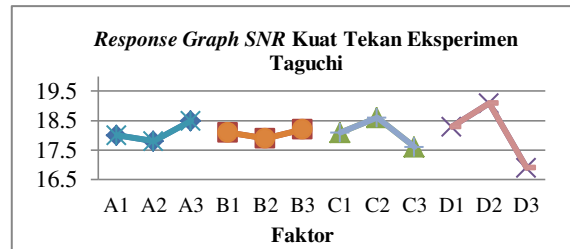
3.9 Perhitungan ANOVA Nilai S/N R

Perhitungan ANOVA nilai S/N R menggunakan persamaan menurut Belavendram (1995). Berikut ini merupakan hasil perhitungan ANOVA nilai S/N R pada kuat tekan dan penyerapan air pada *paving block*.

Pada Tabel 18. merupakan tabel respon nilai S/N R untuk kuat tekan sedangkan untuk penyerapan air tersaji dalam Tabel 19. Penyajian *response graph* pada kuat tekan disajikan pada Gambar 5. dan Penyajian *response graph* untuk penyerapan air pada Gambar 6.

Tabel 17. Tabel Respon untuk Nilai SNR Kuat Tekan Eksperimen Taguchi

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	18,0	18,1	18,1	18,3
Level 2	17,8	17,9	18,6	19,1
Level 3	18,5	18,2	17,6	16,9
Selisih	0,7	0,3	1,1	2,2
Ranking	3	4	2	1



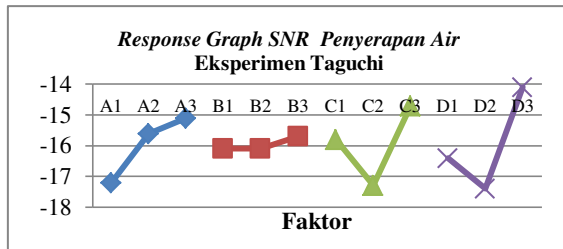
Gambar 5. Grafik Respon S/N R Kuat Tekan Eksperimen Taguchi

Tabel 18. Faktor Penyebab Hasil ANOVA Menyimpang

No.	Faktor		Penyebab
1.	Faktor Scaling		Faktor scaling seharusnya dilakukan pada saat proses pengerasan <i>paving block</i> dengan cara penyiraman
2.	Faktor Noise	Internal	Hasil dari proses pencampuran yang kurang homogen yang menyebabkan <i>paving block</i> tidak bereaksi sempurna dari satu material dengan material yang lainnya.
		Eksternal	Suhu tempat pengerasan <i>paving block</i> yang tidak dapat ditentukan suhunya dan suhu pada saat pemindahan <i>paving block</i> dari tempat pembuatan ke tempat pengujian. Metode pencampuran yang tidak sama sehingga menyebabkan adonan <i>paving block</i> tidak homogen. Intensitas pengadukan yang kurang baik antar satu eksperimen dengan eksperimen yang lain. Kelembaban udara yang tidak dapat diatur. Terjadinya retak pada <i>paving block</i> .
		Unit to unit	Reaksi yang terjadi setelah dan sebelum pencampuran tidak sama antar unit.
3.	Faktor Kontrol		Terdapat interaksi antar faktor yang tidak diperhatikan, sehingga hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan teori yang ada.
4.	Faktor Signal		Modulus kehalusan agregat yang tidak memenuhi syarat, yang seharusnya 1,50-3,80 mm. Agregat kehalusan pada <i>paving block</i> lebih dari syarat yang seharusnya.

Tabel 19. Tabel Respon untuk Nilai SNR Penyerapan Air Eksperimen Taguchi

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	-17,2	-16,1	-15,8	-16,4
Level 2	-15,6	-16,1	-17,3	-17,4
Level 3	-15,1	-15,7	-14,7	-14,1
Selisih	2,1	0,4	2,6	3,3
Ranking	3	4	2	1



Gambar 6. Grafik Respon S/N R Penyerapan Air Eksperimen Taguchi

Hasil perhitungan ANOVA nilai S/N R kuat tekan disajikan dalam Tabel 20. Sedangkan hasil perhitungan ANOVA nilai S/N R penyerapan air disajikan dalam Tabel 21.

Berdasarkan perhitungan ANOVA untuk nilai SN/R pada Tabel 20. dan Tabel 21. menunjukkan bahwa nilai persen kontribusi pada *error* untuk kuat tekan adalah sebesar 9,62% sedangkan untuk penyerapan air adalah sebesar 50% yang menunjukkan bahwa semua faktor signifikan yang mempengaruhi variansi sudah dimasukkan dalam eksperimen ini. Persen kontribusi yang diharapkan nilainya $\leq 50\%$ karena dengan nilai tersebut semua faktor-faktor yang penting telah dilibatkan.

3.11 Penentuan *Setting Level* Optimal

Penentuan *setting level* optimal dalam eksperimen Taguchi ini tidak dapat dilakukan secara langsung dikarenakan terdapat perbedaan *setting level* optimal pada kuat tekan dan penyerapan air. Maka selanjutnya akan dilakukan prosedur TOPSIS (*Technique for*

Order Preference by Similarity to Ideal Solution) sehingga didapatkan *setting level* yang paling optimal menurut kuat tekan dan penyerapan air. Berikut ini merupakan langkah-langkah algoritma TOPSIS:

1. Membuat Matriks Keputusan yang Ternormalisasi

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (\text{Pers. 20})$$

$$r_{ij} = \frac{18,26}{\sqrt{18,26^2 + 16,51^2 + \dots + 19,25^2}}$$

$$r_{ij} = \frac{18,26}{54,34}$$

$$r_{ij} = 0,336$$

2. Matriks Keputusan Ternormalisasi Terbobot

$$y_{ij} = w_i r_{ij} \quad (\text{Pers. 21})$$

$$y_{ij} = 0,833 \times 0,336$$

$$y_{ij} = 0,28$$

3. Matriks Solusi Ideal Positif dan Negatif

Kuat Tekan

$$A^+ = \max(y_1^+, y_2^+, \dots, y_n^+) \quad (\text{Pers. 22})$$

$$A^+ = 0,295$$

$$A^- = \min(y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^-) \quad (\text{Pers. 23})$$

$$A^- = 0,253$$

Penyerapan Air

Menggunakan persamaan 22 dan 23

$$A^+ = \max(y_1^+, y_2^+, \dots, y_n^+)$$

$$A^+ = -0,46$$

$$A^- = \min(y_1^-, y_2^-, \dots, y_n^-)$$

$$A^- = -0,7$$

Tabel 20. Analysis of Variance Nilai Signal to Noise Ratio untuk Kuat Tekan

Source	Pool	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %
A	Y	0,69					
B	Y	0,16					
C		1,79	2	0,89	4,23	1,37	14,72
D		7,44	2	3,72	17,63	7,02	75,66
Error		0,84	4	0,21	1	0,89	9,62
St		9,28	8	1,16		9,28	100
Mean		2943,31	1				
ST		2952,59	9				

Tabel 21. Analysis of Variance Nilai Signal to Noise Ratio untuk Penyerapan Air

Source	Pool	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	Rho %
A	Y	7,24					
B	Y	0,30					
C		10,44	2	5,22	2,77	6,67	16,87
D		16,87	2	8,43	4,47	13,10	33,13
Error		7,54	4	1,89	1	19,77	50,00
St		39,5	8	4,94		39,54	100
Mean		2292,62	1				
ST		2332,16	9				

4. Jarak dengan Solusi Ideal

Jarak dengan Solusi Ideal Positif

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j^+ - y_{ij})^2} \quad (\text{Pers. 24})$$

$$D_i^+ = \sqrt{(0,295 - 0,28)^2 + (-0,46 - (-0,061))^2}$$

$$D_i^+ = 0,399$$

Jarak dengan Solusi Ideal Negatif

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (\text{Pers. 25})$$

$$D_i^- = \sqrt{(0,28 - 0,253)^2 + (-0,061 - (-0,7))^2}$$

$$D_i^- = 0,639$$

5. Nilai Preferensi untuk Setiap Alternatif

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (\text{Pers. 26})$$

$$V_i = \frac{0,64}{0,64 + 0,4}$$

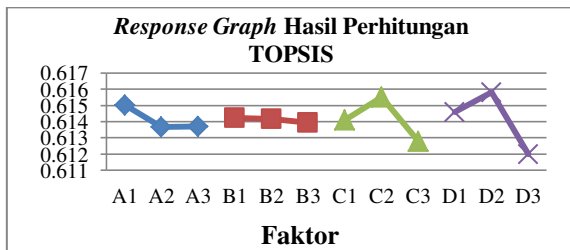
$$V_i = 0,615$$

Hasil perhitungan tiap level disajikan dalam tabel respon pada Tabel 22. Sedangkan Seluruh hasil perhitungan TOPSIS dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 22. Tabel Respon Hasil Perhitungan TOPSIS

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
Level 1	0,61501	0,61424	0,6141	0,6146
Level 2	0,61367	0,61417	0,6155	0,6158
Level 3	0,61370	0,61395	0,6128	0,6120

Pada Gambar 7. dapat dilihat bahwa faktor A level 1 mempunyai nilai preferensi yang lebih tinggi dibandingkan level 2 dan 3, demikian selanjutnya pada faktor B level 1, faktor C level 2 dan faktor D level 2. Maka *setting level* optimal pada pembuatan *paving block* berdasarkan respon kuat tekan (MPa) dan penyerapan air (%) adalah $A_1B_1C_2D_2$.



Gambar 7. Response Graph Hasil Perhitungan TOPSIS

3.12 Prediksi Kondisi Optimal

Prediksi kondisi optimal dari kuat tekan dan penyerapan air pada *paving block* berdasarkan nilai rata-rata dan nilai S/NR.

Prediksi kondisi optimal ini dilakukan dengan cara membandingkan dengan hasil eksperimen konfirmasi selanjutnya. Jika nilai prediksi kondisi optimal memiliki nilai yang hampir sama atau mendekati maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi dapat diterima.

1. Perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata.

a. Prediksi kondisi optimal nilai rata-rata

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (\bar{C2} - \bar{y}) + (\bar{D2} - \bar{y}) \quad (\text{Pers. 27})$$

b. Perhitungan selang kepercayaan rata-rata

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot Ve \cdot \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]} \quad (\text{Pers. 28})$$

Dengan n_{eff} adalah

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom}}$$

Sehingga selang kepercayaan untuk rata-rata adalah:

$$\mu_{predicted} - Cl_{mean} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{mean}$$

2. Perhitungan perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai SN/R.

a. Prediksi kondisi optimal nilai SN/R

$$n_{predicted} = \bar{n} + (\bar{C2} - \bar{n}) + (\bar{D2} - \bar{n}) \quad (\text{Pers. 29})$$

b. Perhitungan selang kepercayaan nilai SN/R

$$Cl_{SNR} = \pm \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \cdot Ve \cdot \left[\frac{1}{n_{eff}} \right]} \quad (\text{Pers. 30})$$

Sehingga selang kepercayaan untuk nilai SN/R adalah:

$$\mu_{predicted} - Cl_{SNR} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{SNR}$$

Selang Kepercayaan Kuat tekan

Nilai Rata-rata

$$\mu_{predicted} - Cl_{mean} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{mean}$$

$$9,1936 \leq \mu_{predicted} \leq 9,8064$$

Nilai SN/R

$$\mu_{predicted} - Cl_{SNR} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{SNR}$$

$$18,652 \leq \mu_{predicted} \leq 20,548$$

Selang Kepercayaan Penyerapan Air

Nilai Rata-rata

$$\mu_{predicted} - Cl_{mean} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{mean}$$

$$8,101 \leq \mu_{predicted} \leq 9,299$$

Nilai S/R

$$\mu_{predicted} - Cl_{SNR} \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{SNR}$$

$$-21,585 \leq \mu_{predicted} \leq -15,895$$

Tabel 23. Perhitungan TOPSIS

Decision Matrix (S/N Ratio)					Weighted Normalized Decision Matrix				
Respon	R1 (Kuat Tekan)	R2 (Penyerapan Air)	rij1	rij2	yij1	yij2	Si*	Si-	Ci*
Weight	0,833	0,166							
1	18,26	-17,66	0,336	-0,366	0,280	-0,061	0,400	0,640	0,6156
2	19,20	-20,39	0,353	-0,422	0,294	-0,070	0,390	0,631	0,6182
3	16,51	-13,56	0,304	-0,281	0,253	-0,047	0,416	0,653	0,6113
4	17,06	-15,46	0,314	-0,320	0,261	-0,053	0,408	0,647	0,6131
5	17,48	-14,65	0,322	-0,303	0,268	-0,050	0,411	0,650	0,6128
6	18,88	-16,57	0,347	-0,343	0,289	-0,057	0,403	0,644	0,6151
7	19,09	-15,10	0,351	-0,313	0,293	-0,052	0,408	0,649	0,6141
8	17,04	-13,27	0,314	-0,275	0,261	-0,046	0,416	0,654	0,6115
9	19,25	-16,97	0,354	-0,351	0,295	-0,058	0,402	0,643	0,6155
	54,34	48,3	A*		0,295	-0,46			
			A-		0,253	-0,7			

3.13 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan tahapan eksperimen yang dilakukan pada kombinasi level-level faktor optimal yang terpilih berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan TOPSIS. Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk memeriksa hasil dari eksperimen Taguchi, jika hasil eksperimen konfirmasi dan eksperimen Taguchi pada kombinasi level optimalnya sudah cukup dekat maka dapat disimpulkan bahwa rancangan diterima. Untuk eksperimen konfirmasi pada penelitian ini digunakan 16 buah *paving block*. Pada Tabel 24. merupakan hasil pengujian kuat tekan *paving block* eksperimen konfirmasi. Sedangkan pada Tabel 25. merupakan hasil pengujian penyerapan air *paving block* eksperimen konfirmasi.

Tabel 24. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Eksperimen Konfirmasi

No. Sampel	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
1	22788	225000	9,87
2	22788	238000	10,44
3	22788	223000	9,79
4	22788	230000	10,09
5	22788	217000	9,52
6	22788	220000	9,65
7	22788	228000	10,01
8	22788	206000	9,04
9	22788	213000	9,35
10	22788	221000	9,70
11	22788	225000	9,87
12	22788	209000	9,17
13	22788	210000	9,22
14	22788	245000	10,75
15	22788	219000	9,61
16	22788	206000	9,04

Tabel 25. Hasil Pengujian Penyerapan Air *Paving Block* Eksperimen Konfirmasi

No. Sampel	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	Selisih (gram)	Penyerapan Air (%)
1	2524,2	2320,9	203,3	8,76
2	2412,6	2220,8	191,8	8,64
3	2447	2280	167	7,32
4	2564,4	2370	194,4	8,2
5	2476,8	2285,4	191,4	8,37
6	2322,6	2146,9	175,7	8,18
7	2590	2396	194	8,1
8	2414,6	2230,4	184,2	8,26
9	2384,4	2190	194,4	8,88
10	2567,5	2370	197,5	8,33
11	2672,2	2459,5	212,7	8,65
12	2414,9	2235,3	179,6	8,03
13	2331,4	2160,8	170,6	7,9
14	2652,6	2460,4	192,2	7,81
15	2545,6	2360,6	185	7,84
16	2472,8	2280	192,8	8,46

Pada Tabel 26. merupakan hasil perhitungan nilai rata-rata, nilai variansi dan nilai S/NR untuk kuat tekan dan penyerapan air *paving block* hasil eksperimen konfirmasi.

Tabel 26. Hasil Perhitungan Rata-rata, variansi dan SNR

	Kuat Tekan	Penyerapan Air
Nilai rata-rata	9,7	8,23
Nilai variansi	0,61	0,171
Nilai SNR	19,7	-18,3

Selang kepercayaan nilai rata-rata kuat tekan

$$\mu_{confirmation} - Cl_{mean} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + Cl_{mean}$$

$$9,341 \leq \mu_{confirmation} \leq 10,049$$

Selang kepercayaan nilai S/NR kuat tekan

$$\mu_{confirmation} - Cl_{SNR} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + Cl_{SNR}$$

$$18,322 \leq \mu_{confirmation} \leq 21,078$$

Selang kepercayaan rata-rata penyerapan air

$$\mu_{confirmation} - Cl_{mean} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + Cl_{mean}$$

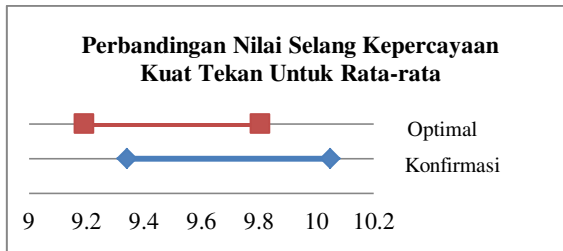
$$7,539 \leq \mu_{confirmation} \leq 8,927$$

Selang kepercayaan nilai S/NR penyerapan air

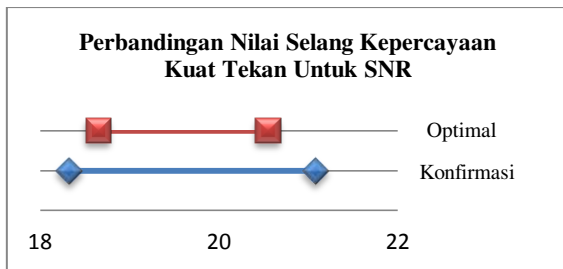
$$\mu_{confirmation} - Cl_{SNR} \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + Cl_{SNR}$$

$$-21,321 \leq \mu_{confirmation} \leq -15,3$$

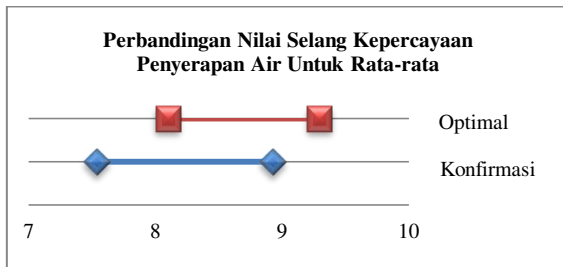
Pada Gambar 8. merupakan perbandingan selang kepercayaan nilai rata-rata untuk kuat tekan sedangkan Gambar 9. merupakan perbandingan nilai S/NR. Pada Gambar 10. merupakan perbandingan selang kepercayaan nilai rata-rata untuk penyerapan air sedangkan Gambar 11. merupakan perbandingan nilai S/NR.



Gambar 8. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Kuat Tekan untuk Rata-rata



Gambar 9. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Kuat Tekan untuk SNR



Gambar 10. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Penyerapan Air untuk Rata-rata



Gambar 11. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Penyerapan Air untuk S/NR

Berdasarkan Gambar 8. Gambar 9. Gambar 10. dan Gambar 11. hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dan S/NR dapat diterima dan dapat diimplementasikan pada pembuatan *paving block*. Hal ini dikarenakan tidak terdapat perbedaan yang jauh antara kondisi optimal dan eksperimen konfirmasi.

3.14 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi

Perbandingan dengan kondisi aktual ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara *paving block* hasil dari eksperimen konfirmasi dengan *paving block* kondisi aktual. Pada Tabel 27. Merupakan perbandingan nilai rata-rata dan variansi pada kondisi aktual dan konfirmasi

Tabel 27. Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi

Pembanding	Kuat Tekan		Penyerapan Air	
	Aktual	Konfirmasi	Aktual	Konfirmasi
Rata-rata	8,4	9,695	9,06	8,23
Variansi	0,409	0,235	0,841	0,163

Pengujian hipotesis beda dua rata-rata untuk sampel kecil (≤ 30), uji statistik menggunakan distribusi t. Berikut merupakan prosedur pengujian hipotesis beda dua rata-rata pada kuat tekan dan penyerapan air.

Kuat Tekan

1. Formulasi Hipotesis

H_0 : Kuat tekan (MPa) kondisi aktual tidak berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : Kuat tekan (MPa) kondisi aktual berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal ($\mu_1 < \mu_2$)

2. Nilai α (taraf nyata) dan nilai $t_{tabel}(t_\alpha)$

α (taraf nyata) = 0,05

Derajat kebebasan = $16+16-2=30$

$t_{tabel} = t_{\alpha(n_1+n_2-2)} = t_{0,05(30)} = 1,697$

3. Kriteria Pengujian

Untuk $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_1 : \mu_1 < \mu_2$

H_0 diterima jika $t_0 \geq -t_\alpha$,

H_0 ditolak jika $t_0 < -t_\alpha$.

4. Uji Statistik

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (\text{Pers. 31})$$

$$t_0 = \frac{8,4 - 9,695}{\sqrt{\frac{(16-1)0,409 + (16-1)0,235}{16+16-2} \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{16} \right)}}$$

$$t_0 = \frac{-1,2945}{0,2}$$

$$t_0 = -6,451$$

5. Kesimpulan Hipotesis Uji t
 Karena t_{hitung} (-6,451) kurang dari t_{tabel} (-1,697) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat tekan (MPa) *paving block* kondisi aktual berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal.

Penyerapan Air

1. Formulasi Hipotesis
 H_0 : Penyerapan air (%) kondisi aktual tidak berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal ($\mu_1 = \mu_2$)
 H_1 : Penyerapan air (%) kondisi aktual berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal ($\mu_1 > \mu_2$)
2. Nilai α (taraf nyata) dan nilai t tabel (t_α)
 α (taraf nyata) = 0,05
 Derajat kebebasan = $16+16-2=30$
 $t_{tabel} = t_{\alpha(n_1+n_2-2)} = t_{0,05(30)} = 1,697$
3. Kriteria Pengujian
 Untuk H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ dan H_1 : $\mu_1 > \mu_2$
 H_0 diterima jika $t_0 \leq t_\alpha$,
 H_0 ditolak jika $t_0 > t_\alpha$.
4. Uji Statistik
 Menggunakan persamaan 31, hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$t_0 = \frac{9,06 - 8,23}{\sqrt{\frac{(16-1)0,841 + (16-1)0,163}{16+16-2} \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{16}\right)}}$$

$$t_0 = \frac{0,83}{0,2505}$$

$$t_0 = 3,304$$
5. Kesimpulan Hipotesis Uji t
 Karena t_{hitung} (3,304) lebih dari t_{tabel} (1,697) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyerapan air (%) *paving block* kondisi aktual berbeda signifikan terhadap *paving block setting level* optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian di atas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas kuat tekan (MPa) dan penyerapan air (%) pada *paving block* adalah rasio air semen : agregat, rasio semen : abu ampas tebu dan rasio pasir goa : pasir kali.
2. *Setting level* optimal pada pembuatan *paving block* dengan penambahan bahan alternatif berupa abu ampas tebu adalah $A_1B_1C_2D_2$, dapat diartikan bahwa rasio

berat air semen dan agregat adalah 5%:95%, rasio air dan semen (FAS) adalah 35%:65%, rasio berat semen dan abu ampas tebu adalah 75%:25%, serta rasio berat pasir goa dan pasir kali adalah 35%:65%.

3. Berdasarkan pengujian hipotesis dua rata-rata maka dapat disimpulkan bahwa kondisi *paving block* aktual berbeda signifikan terhadap *setting level* optimal

Daftar Pustaka

- Arum, C. W. & Perdhani, D. (2002). Nilai Korelasi Kuat Tekan Paving Block Pada Umur 3, 7, 14, 21 dan 28 Hari. *Jurnal Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*. Vol. 1, No. 1.
- ASTM. (1995). *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia: ASTM.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *Paving Block: SNI 03-0691-1996*. Jakarta: BSN.
- Belavendram, N. (1995). *Quality By Design: Taguchi Technique for Industrial Experimentation*. London: Prentice Hall
- Cavalieri, G. (2001). British Standard (BS) 6717-1:1993 : *Specification For Paving Block*. <http://bsonline.techindex.co.uk> (diakses 10 April 2014)
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*. Jakarta: Balitbang PU
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2012). *Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*. Jakarta: Balitbang PU
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Publisher.